

Kemudian selain faktor pendangkalan yang menyebabkan banjir adalah limpasan air laut yang masuk kembali ke Waduk



Pluit. Pengaruh banjir ini sangatlah merugikan, sebab daerah Polder Pluit ini meliputi wilayah Jakarta yang paling vital, sehingga adanya genangan pada wilayah ini akan menghambat kelancaran lalu lintas kendaraan, menghambat roda perekonomian, menghambat kelancaran pemerintah dan lain sebagainya. Melihat kenyataan banjir sangat merugikan maka usaha-usaha untuk menanggulangi banjir ini perlu perencanaan yang terpadu dan menyeluruh.

## II. Tinjauan Pustaka

### A. Data Lengkung Kapasitas Waduk

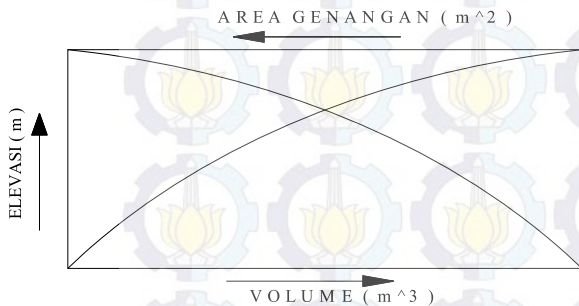
Untuk menentukan volume total waduk berdasarkan pada data topografi yang ada. Untuk keperluan ini diperlukan peta topografi dengan beda tinggi (kontur) 0,5 m atau 1 m. Untuk perhitungan luas dibatasi oleh masing – masing kontur. Kemudian dicari volume yang dibatasi oleh 2 garis kontur yang berurutan. Sesudah semua luas dan volume masing – masing diketahui lalu digambarkan pada sebuah grafik hubungan antara elevasi, luas dan volume (gambar 2).

$$I = \sum (F_i + F_{i+1}) \times \frac{1}{2} (h_{i+1} - h_i) \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana :

$F_i$  = Luas daerah yang dikelilingi oleh garis tinggi  $h_i$

$F_{i+1}$  = Luas daerah yang dikelilingi oleh garis tinggi  $h_{i+1}$



Gambar 2. Grafik Hubungan Antara Elevasi, Luas dan Volume

### B. Kapasitas Pompa Eksisting

Elev. Air Waduk (m)	Pompa Operasi (On)			Pompa Operasi (Off)			Keterangan
	P. Timur	P. Tengah	P. Barat	P. Timur	P. Tengah	P. Barat	
	1 x 3,7 m <sup>3</sup> /dt 3 x 3,2 m <sup>3</sup> /dt	4 x 4 m <sup>3</sup> /dt	3 x 6 m <sup>3</sup> /dt	1 x 3,7 m <sup>3</sup> /dt 3 x 3,2 m <sup>3</sup> /dt	4 x 4 m <sup>3</sup> /dt	3 x 6 m <sup>3</sup> /dt	
≤ -1,90	4	-	-	1, 2, 3	1, 2, 3, 4	1, 2, 3	Dipertahankan -1,9m PP
-1,70	4	1, 2	-	1, 2, 3	3, 4	1, 2, 3	
-1,60	1, 2	1	-	3, 4	2, 3, 4	1, 2, 3	
-1,50	3, 4	3, 4	-	1, 2	1, 2	1, 2, 3	
-1,40	1, 2	1, 2, 3	-	3, 4	4	1, 2, 3	
-1,30	3, 4	1, 2, 3, 4	-	1, 2	-	1, 2, 3	8 jam operasi penuh istirahat 1 jam per 1 unit bergantian
-1,10	1, 2, 3, 4	1, 2, 3, 4	-	-	-	1, 2, 3	
-1,00	1, 2, 3, 4	1, 2, 3, 4	1	-	-	2, 3	
-0,90	1, 2, 3, 4	1, 2, 3, 4	1, 2, 3	-	-	-	

Data Teknis Rumah Pompa Pluit :

- Lokasi : Jl. Pluit Selatan Raya-Penjaringan
- Jumlah Pompa : 11 unit
- Kapasitas Pompa:
  - Pompa Timur : 3 unit @ 3,2 m<sup>3</sup>/sec  
1 unit @ 3,7 m<sup>3</sup>/sec
  - Pompa Tengah : 4 unit @ 4,0 m<sup>3</sup>/sec
  - Pompa Barat : 3 unit @ 6,0 m<sup>3</sup>/sec
- Total 11 unit = 47,3 m<sup>3</sup>/sec
- Merk-Tipe : Ruhaak Phala
- Luas Catchment Area : 2083 Ha

- Luas Waduk : 80 Ha
- Kewenangan : DPU Provinsi DKI Jakarta
- Tinggi Stasiun pompa : 2,464 m Peil Priok
- Ketinggian Head pompa : 4,464 m

Data Batas Ketinggian Air Pada Waduk Pluit

Pintu Air	WADUK PLUIT
Normal	Kurang dari -100
Siaga III	-100 s/d -65
Siaga II	-65 s/d -10
Siaga I	Lebih dari -10

### C. Reservoir Routing

Rumus dasarnya adalah :

$$I - O = \frac{ds}{dt}$$

( Bambang Triatmodjo, 2013 )

dimana :

$I$  = inflow, debit air yang masuk ke dalam waduk (m<sup>3</sup>/detik)

$O$  = outflow, debit air yang keluar dari waduk (m<sup>3</sup>/detik)

$ds/dt$  = debit air yang tertahan di dalam waduk untuk jangka waktu yang pendek.

Apabila ditulis dalam bentuk integral menjadi :

$$\int I . dt - \int O . dt = S_2 - S_1$$

$\int I . dt$  dan  $\int O . dt$  adalah debit x waktu untuk jangka yang pendek dan merupakan volume air.

Apabila diambil jangka waktu  $t$  yang cukup pendek, maka  $\int . dt$  dapat disamakan dengan harga rata – rata dari 2 inflow yang berurutan ( $I_1$  dan  $I_2$ ).

$$I . dt = \frac{I_1 + I_2}{2}$$

( Bambang Triatmodjo, 2013 )

Dengan cara yang sama maka  $O . dt = \frac{O_1 + O_2}{2}$

$$\text{Jadi } \frac{I_1 + I_2}{2} . t - \frac{O_1 + O_2}{2} . t = S_2 - S_1$$

( Bambang Triatmodjo, 2013 )

Dimana :

$$\frac{I_1 + I_2}{2} = \text{rata – rata inflow setiap tahap (m}^3\text{/detik)}$$

$$\frac{O_1 + O_2}{2} = \text{rata–rata outflow setiap tahap (m}^3\text{/detik)}$$

$t$  = jangka waktu ( periode ) dalam detik

$S_2 - S_1$  = tambahan air yang tertampung di dalam waduk (m)

Pada penelusuran aliran di waduk, di mana permukaan air adalah horizontal, tampungan hanya merupakan fungsi dari aliran keluar, yang mempunyai bentuk berikut

$$S = K O$$

( Bambang Triatmodjo, 2013 )

Dimana :  $K$  = koefisien tampungan, yaitu perkiraan waktu perjalanan air dari hulu ke hilir

Untuk waktu ke 1 dan ke 2, persamaan tersebut dapat ditulis menjadi :

$$S_1 = K O_1$$

dan

$$S_2 = K O_2$$

$$O_2 = C_0 I_2 + C_1 I_1 + C_2 O_1$$



Dimana  $C_0$ ,  $C_1$  dan  $C_2$  adalah konstanta yang mempunyai bentuk berikut :

$$C_0 = \frac{\Delta t / K}{2 + (\Delta t / K)}$$

$$C_1 = C_0.$$

$$C_2 = \frac{2 - \Delta t / K}{2 + (\Delta t / K)}$$

( Bambang Triatmodjo, 2013 )

#### D. Sistem Pompa

1. Aliran masuk (*inflow*) ke kolam penampung
2. Tinggi muka air di outlet  
→ yaitu muka air di saluran pembuang, sungai atau laut  
→ pompa dioperasikan bila muka air di outlet lebih tinggi daripada muka air di saluran
3. Kolam penampung dan volume kolam penampung

$$I - O = \frac{dV}{dt}$$

Dimana :

$I$  = aliran masuk (*inflow*),  $m^3/dt$

$O$  = aliran keluar (*outflow*) atau kapasitas pompa,  $m^3/dt$

$V$  = volume tampungan ( $m^3$ )

$t$  = waktu,  $dt$

(Fifi Sofia, 2014)

#### E. Optimasi Pola Operasional Pompa Air

Penurunan muka air maksimum di waduk yang diperoleh pada kejadian hujan periode ulang tertentu dengan menggunakan pompa.

Pengoperasian pompa pada sistem Polder lebih ditentukan oleh kondisi Muka Air di waduk. Pompa yang alirannya dibuang ke Laut akan sedikit berbeda dengan yang dibuang di Kanal. Pompa yang membuang kelaut tidak terlalu terpengaruh oleh pasang surutnya air laut, tetapi yang membuang ke kanal umumnya perbedaan tinggi tanggul kanal dapat menjadi kendala. Beberapa kondisi adalah sebagai berikut :

1. Pemompaan dari polder ke laut dengan kondisi muka air di Waduk sbb:

- Muka Air Rendah (normal) pada kondisi tidak hujan, pompa diistirahatkan untuk dilakukan pengecekan ringan, pemberian pelumas, pengecekan kelancaran arus listrik dari sumber dan panel.

- Muka Air naik karena buangan air domestik masuk biasanya waktu pagi dan sore hari. Pompa dioperasikan sampai muka air di waduk kembali normal

- Terjadi hujan ringan pompa dioperasikan jika tinggi muka air terjadi kenaikan.

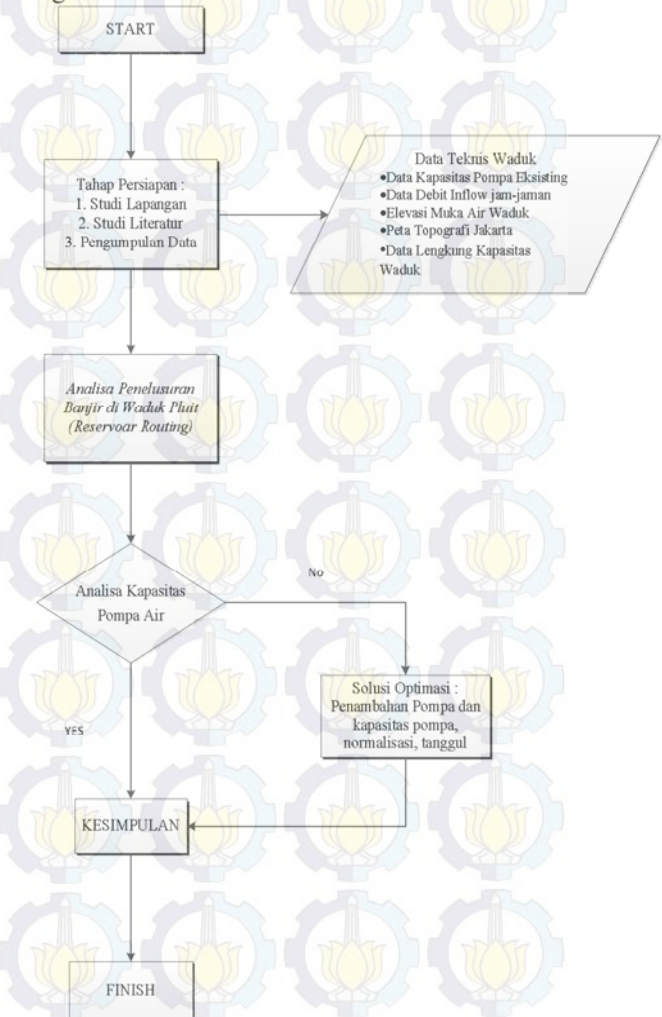
- Terjadi hujan lebat diarea polder otomatis tinggi muka air akan naik maka pompa harus dioperasikan secara maksimal untuk mengembalikan kondisi tinggi muka air menjadi normal kembali.

- Untuk menjaga agar supaya pompa tidak memompa sampai kering dan akan merusak baling – baling (*propeller*) rusak maka harus ditentukan batas tinggi muka air terendah. Tinggi muka air terendah ini berada beberapa centimeter diatas mulut bawah pompa.

- Tinggi muka air normal berada pada level tinggi muka air tanah. Sekalipun waduk dibuat dalam maka setelah dipompa muka air akan kembali ke level normal lagi. Volume waduk yang operasional untuk musim kemarau dimulai dari muka air normal sampai muka air maksimal. Untuk musim hujan volume waduk operasional mulai dari muka air terendah mulut pompa sebab volume tampungan dibutuhkan lebih besar sesuai besarnya debit yang masuk lewat inlet.

### III. METODOLOGI

#### Diagram Alir

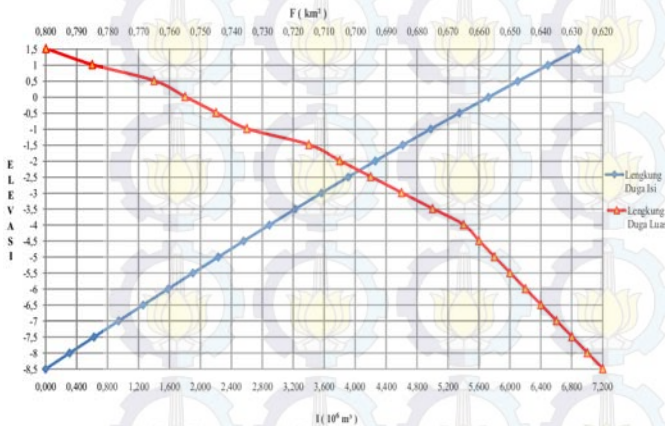


Gambar 3. Diagram Alir Metodologi Penelitian



#### IV. PEMBAHASAN

##### A. Pengolahan Data Kapasitas Waduk Pluit



Gambar 4. Grafik hubungan antara isi, luas dan elevasi waduk Pluit

##### B. Reservoir Routing (Tanggal 23-29 Desember 2011)

Dari data didapat hidrograf aliran masuk (*inflow*) jam-jaman ke waduk Pluit dengan konstanta  $K = 3$  jam,  $\Delta t = 1$  jam,  $X = 0$ .

Hitungan dilakukan dengan menggunakan Tabel dan (gambar 5). dan dengan langkah atau tahapan mulai dari waktu (jam) ke 0 menuju jam ke 1; hasil yang diperoleh pada jam ke 1 digunakan untuk menghitung nilai-nilai parameter pada jam ke 2; dan seterusnya. Hitungan dibantu dengan menggunakan program *software* Excel.

1. Pada waktu ke 0 data debit aliran masuk  $I_1$  diketahui, aliran keluar  $O_1$  dianggap sama dengan  $I_1$  yang dianggap aliran dasar.

2. Interval waktu  $\Delta t = 1$  jam dan  $K = 3$  jam sehingga  $\Delta t / K = 1/3$ . Dengan menggunakan rumus :

$$C_0 = \frac{\Delta t / K}{2 + (\Delta t / K)} = \frac{1/3}{2 + (1/3)} = 0,143$$

$$C_1 = C_0 = 0,143$$

$$C_2 = \frac{2 - \Delta t / K}{2 + (\Delta t / K)} = \frac{2 - 1/3}{2 + (1/3)} = 0,714$$

Dihitung nilai  $C_0 I_2$ ,  $C_1 I_1$ ,  $C_2 O_1$  seperti diberikan oleh persamaan

$$O_2 = C_0 I_2 + C_1 I_1 + C_2 O_1$$

Dan hasilnya diberikan dalam kolom 3, 4, 5 :

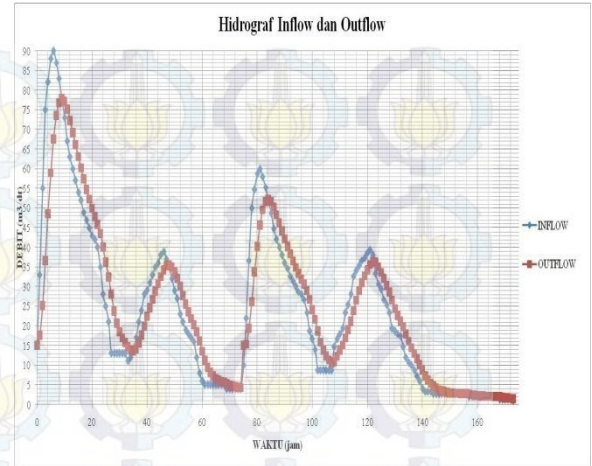
$$C_0 I_2 = 0,143 \times 33 = 4,7 \text{ m}^3 / \text{det}$$

$$C_1 I_1 = 0,143 \times 15 = 2,1 \text{ m}^3 / \text{det}$$

$$C_2 O_1 = 0,714 \times 15 = 10,7 \text{ m}^3 / \text{det}$$

Aliran keluar dapat dihitung :

$$O_2 = C_0 I_2 + C_1 I_1 + C_2 O_1 = 4,7 + 2,1 + 10,7 = 17,6 \text{ m}^3 / \text{det}$$



Gambar 5. Hidrograf Aliran Masuk dan Keluar (Hasil Perhitungan *Reservoir Routing*) kondisi 1

##### C. Reservoir Routing (Tanggal 17-23 Januari 2013)

Dari data didapat hidrograf aliran masuk (*inflow*) jam-jaman ke waduk Pluit dengan konstanta  $K = 3$  jam,  $\Delta t = 1$  jam,  $X = 0$ .

Hitungan dilakukan dengan menggunakan Tabel dan (gambar 6). dan dengan langkah atau tahapan mulai dari waktu (jam) ke 0 menuju jam ke 1; hasil yang diperoleh pada jam ke 1 digunakan untuk menghitung nilai-nilai parameter pada jam ke 2; dan seterusnya. Hitungan dibantu dengan menggunakan program *software* Excel.

1. Pada waktu ke 0 data debit aliran masuk  $I_1$  diketahui, aliran keluar  $O_1$  dianggap sama dengan  $I_1$  yang dianggap aliran dasar.

2. Interval waktu  $\Delta t = 1$  jam dan  $K = 3$  jam sehingga  $\Delta t / K = 1/3$ . Dengan menggunakan rumus :

$$C_0 = \frac{\Delta t / K}{2 + (\Delta t / K)} = \frac{1/3}{2 + (1/3)} = 0,143$$

$$C_1 = C_0 = 0,143$$

$$C_2 = \frac{2 - \Delta t / K}{2 + (\Delta t / K)} = \frac{2 - 1/3}{2 + (1/3)} = 0,714$$

Dihitung nilai  $C_0 I_2$ ,  $C_1 I_1$ ,  $C_2 O_1$  seperti diberikan oleh persamaan

$$O_2 = C_0 I_2 + C_1 I_1 + C_2 O_1$$

Dan hasilnya diberikan dalam kolom 3, 4, 5 :

$$C_0 I_2 = 0,143 \times 25 = 3,6 \text{ m}^3 / \text{det}$$

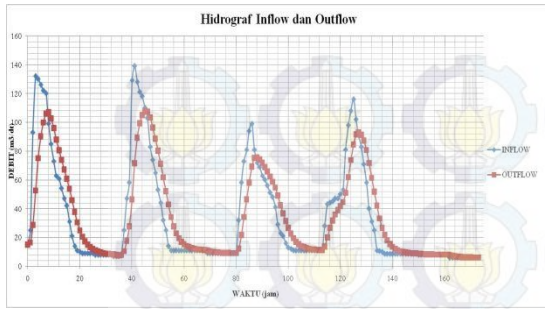
$$C_1 I_1 = 0,143 \times 15 = 2,1 \text{ m}^3 / \text{det}$$

$$C_2 O_1 = 0,714 \times 15 = 10,7 \text{ m}^3 / \text{det}$$

Aliran keluar dapat dihitung :

$$O_2 = C_0 I_2 + C_1 I_1 + C_2 O_1 = 3,6 + 2,1 + 10,7 = 16,4 \text{ m}^3 / \text{det}$$

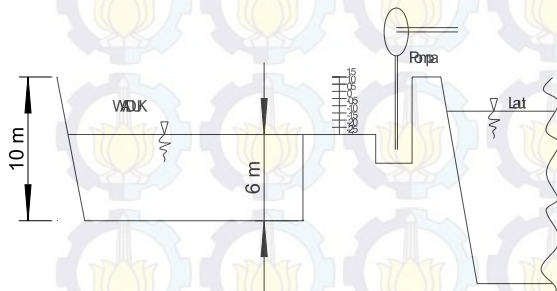




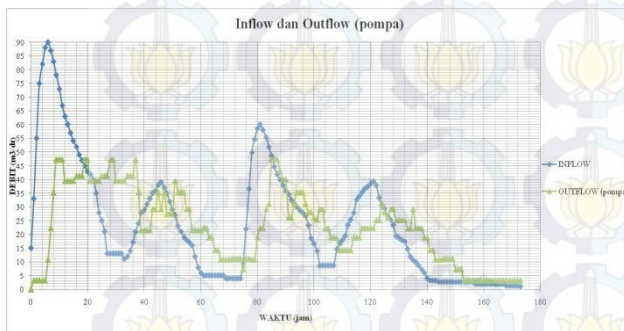
Gambar 6. Hidrograf Aliran Masuk dan Keluar (Hasil Perhitungan Reservoir Routing) kondisi 2

#### D. Simulasi Pengoperasian Pompa (kondisi Eksisting)

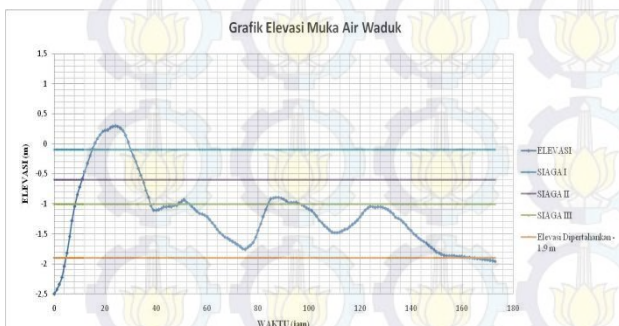
Kondisi 1, Waduk dalam keadaan kosong dan tidak ada endapan yang terjadi (gambar 7), pompa normal (gambar 8)



Gambar 7. Sketsa Permodelan Waduk dalam kondisi 1

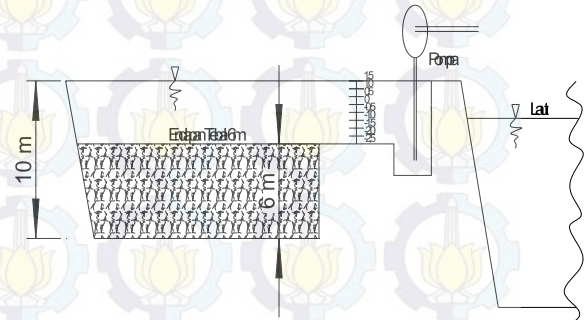


Gambar 8. Hidrograf Aliran Masuk dan Keluar (pompa) kondisi 1

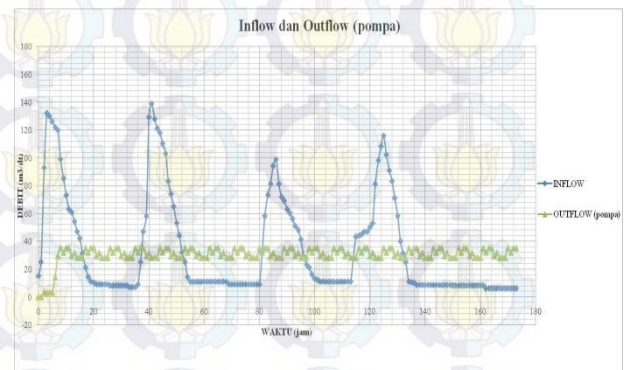


Gambar 9. Grafik Elevasi Muka Air Waduk Pluit kondisi 1

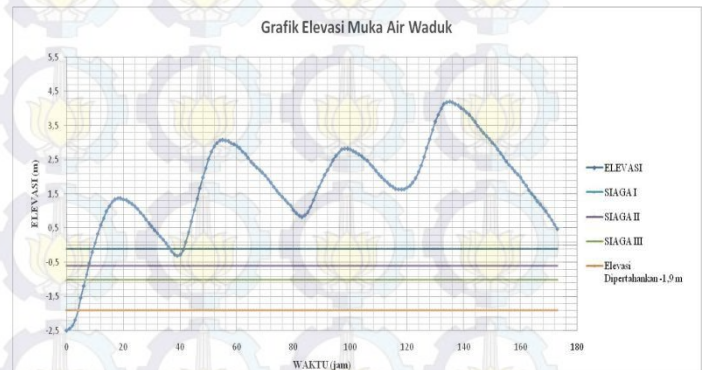
Kondisi 2, Waduk terjadi endapan karena sedimentasi (gambar 10), keadaan 2 pompa masing-masing kapasitas 6 m<sup>3</sup>/det di rumah pompa barat dalam keadaan rusak (gambar 11).



Gambar 10. Sketsa Permodelan Waduk dalam kondisi 2



Gambar 11. Hidrograf Aliran Masuk dan Keluar (pompa) kondisi 2



Gambar 12. Grafik Elevasi Muka Air Waduk kondisi 2

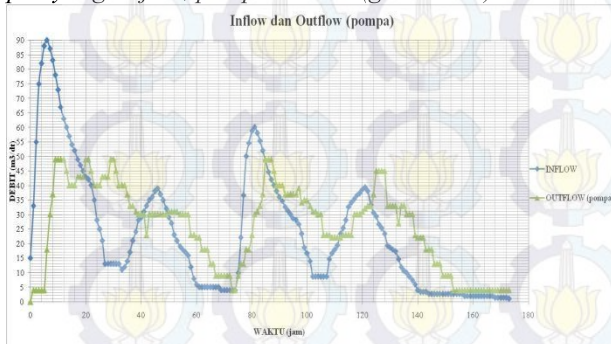
#### E, Simulasi Pengoperasian Pompa (Hasil Optimasi)

Standar Operasi dan Prosedur Pompa dari Hasil Optimasi

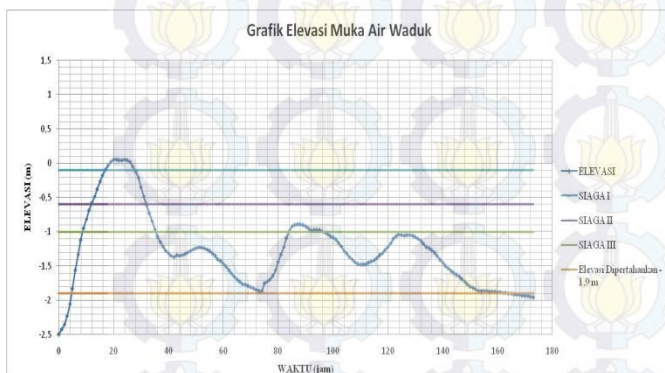
Elev. Air Waduk (m)	Pompa Operasi (On)			Pompa Operasi (Off)			Keterangan
	P. Timur 3 x 5m <sup>3</sup> /dt	P. Tengah 4 x 4m <sup>3</sup> /dt	P. Barat 3 x 6m <sup>3</sup> /dt	P. Timur 3 x 5m <sup>3</sup> /dt	P. Tengah 4 x 4m <sup>3</sup> /dt	P. Barat 3 x 6m <sup>3</sup> /dt	
≤ -1,90	3	-	-	1, 2	1, 2, 3, 4	1, 2, 3	Diperkirakan -1,9m PP
-1,80	2, 1	-	-	1	1, 2, 3, 4	1, 2, 3	
-1,70	3	1, 2	-	1, 2	3, 4	1, 2, 3	
-1,60	1, 2	3, 4	-	3	1, 2	1, 2, 3	8 jam operasi penuh Istirahat 1 jam per 1 unit bergantian
-1,50	1, 2	1, 2, 3	-	3	4	1, 2, 3	
-1,40	1, 2, 3	1, 2	-	-	3, 4	1, 2, 3	
-1,30	2, 3	3, 4	1, 2	1	1, 2	3	
-1,20	1, 2, 3	1, 2, 3, 4	-	-	-	1, 2, 3	
-1,10	3	1, 2, 3, 4	1, 2	1, 2	-	3	
-1,00	1, 2, 3	1, 2, 3, 4	1, 2	-	-	3	
-0,90	1, 2, 3	1, 2, 3, 4	1, 2, 3	-	-	-	



Kondisi 1, Waduk dalam keadaan kosong dan tidak ada endapan yang terjadi, pompa normal (gambar 13)

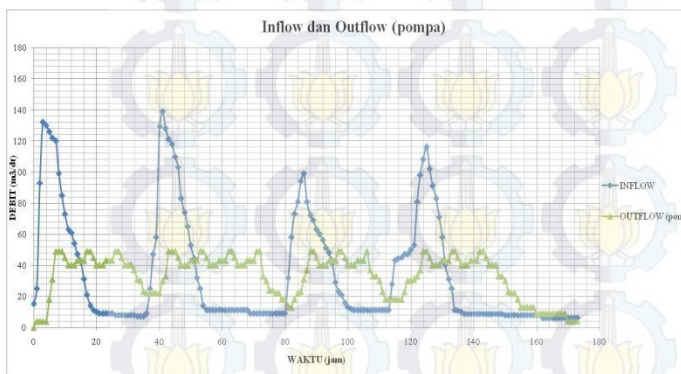


Gambar 13. Hidrograf Aliran Masuk dan Keluar (pompa) Hasil Optimasi kondisi 1

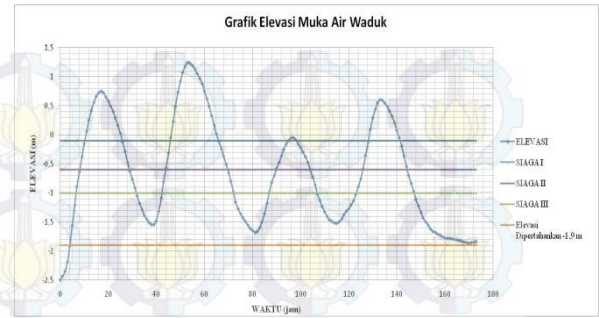


Gambar 14. Grafik Elevasi Muka Air Waduk Pluit Hasil Optimasi kondisi 1

Kondisi 2, Waduk terjadi endapan karena sedimentasi (gambar 15).



Gambar 15. Hidrograf Aliran Masuk dan Keluar (pompa) Hasil Optimasi kondisi 2



Gambar 16. Grafik Elevasi Muka Air Waduk Hasil Optimasi kondisi 2

## V. KESIMPULAN

Dari hasil analisis yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Kondisi waduk dan kapasitas pompa yang ada saat ini 3 unit @ 3,2 m<sup>3</sup>/det, 1 unit @3,7m<sup>3</sup>/det, 4 unit pompa @4m<sup>3</sup>/det dan 3 unit @6m<sup>3</sup>/det sudah tidak mampu lagi mengatasi debit banjir, ditambah apabila salah satu unit dari pompa mengalami kerusakan, pompa yang lain tidak mampu membantu mengatasi banjir (gambar 12).
2. Sistem pembuangan air Waduk Pluit ke laut pada kondisi rutin (sesuai SOP) tidak bisa secara gravitasi tetapi menggunakan 3 unit pompa @5 m<sup>3</sup>/det, 4 unit pompa @4m<sup>3</sup>/det, 3 unit @6m<sup>3</sup>/det (gambar 9).
3. Untuk debit banjir, diperlukan optimasi penambahan kapasitas pompa pada rumah Pompa Timur sebesar 5 m<sup>3</sup>/det dengan jumlah 3 unit (gambar 14 dan 16).

## VI. SARAN

1. Untuk meringankan jumlah pompa perlu dilakukan upaya peningkatan kapasitas tampungan waduk dengan :
  - Pengerukan sedimen dan sampah secara periodik 2 tahun sekali.
  - Pembuatan tanggul di sekeliling waduk untuk meningkatkan kapasitas waduk.
  - Perbaikan pintu-pintu air agar tidak bocor dan rusak, sehingga tidak menambah beban waduk
  - Pembebasan tanah sekitarnya yang dimanfaatkan sebagai pemukiman penduduk, sehingga mengurangi beban sampah dan buangan air kotor yang masuk ke waduk.
2. SOP pompa perlu ditambah lebih dari -1,9m PP agar jumlah pompa optimum. Sosialisasi kepada masyarakat disekitarnya untuk mencegah bocoran, sehingga mengurangi beban Waduk Pluit.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Dinas Pekerjaan Umum. 2014. **Strategi Penanganan Banjir dan Penurunan Muka Tanah di Jakarta**. Jakarta: DINAS PU Provinsi DKI Jakarta.
- [2] Triatmodjo, Bambang. 2008. **Hidrologi Terapan**. Yogyakarta: Beta Offset.
- [3] Sofia, Fifi. 2014. **Diktat Kuliah 11. Pompa**. Surabaya: ITS.